JAXA's
[ジャクサス] July 2012
宇宙航空研究開発機構機関誌
No.045

ロケット打ち上げを支える「見えない仕事」

筋肉の萎縮や骨量減少のメカニズムを探る
水棲生物実験装置

極小期から極大期へ
「ひので」が捉えた新しい太陽の姿

若田宇宙飛行士インタビュー
宇宙で求められるリーダーシップ

より軽く、より強く、より安く
低コスト複合材の研究

No.045
宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙：「しずく」を搭載したH-ⅡAロケット21号機の機体移動。JAXAロゴの入った車両は移動空調車。人工衛星が収納されたフェアリング内部の清浄度・湿度・温度を一定に保つために、機体移動中にダクトからフェアリングに空気を送り続ける

INTRODUCTION

5月18日午前1時39分、第一期水循環変動観測衛星「しずく」が宇宙へ向けて飛び立ちました。高性能マイクロ波放射計のアンテナも無事に展開し、今後3カ月かけて初期機能をチェック、観測データの提供は来年1月ごろを目指しています。今回の打ち上げを現地で実際にご覧になった方、またテレビでご覧になった方もいらっしゃると思いますが、その舞台裏では数百人ものスタッフが連携し、入念に準備作業を進めています。巻頭特集では、ロケット班、設備班、気象係など、“ロケット打上隊”の面々にインタビュー。縁の下で奮闘する彼らの仕事ぶりをご覧ください。「しずく」打ち上げ成功から3日後の21日、日本列島で金環日食が観察されました。その模様を宇宙から捉えたのがJAXAの太陽観測衛星「ひので」です（18ページに画像掲載）。打ち上げから約6年、休むことなく観測した膨大なデータから、太陽活動のメカニズムが明らかになりつつあります。プロジェクトを担当する清水敏文准教授に、詳しく解説してもらいました。本号が発行される7月には、星出彰彦宇宙飛行士と宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機が相次いで国際宇宙ステーションへ向かいます。打ち上げライブ中継も予定しており、JAXAwebサイトでも最新情報を随時お知らせしていきます。皆さんのたくさんのご声援、どうぞよろしくお願いいたします。

特集

ロケット打ち上げを支える「見えない仕事」

7月21日、予定通りなら国際宇宙ステーションへの補給物資を積んだ質量約15.4tの宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機は、種子島宇宙センターから4000km以上離れた南太平洋上空の宇宙空間でH-ⅡBロケット3号機から分離される。その時に機体は秒速7.7km、実に新幹線の100倍近い速度に達しているはずだ。ロケットとは、リフトオフから分離までの、わずかな時間（今回は予定では15分11秒）のうちに、推進薬の持つ莫大な化学エネルギーを一気に運動エネルギーに変換する巨大で複雑なシステムである。

そしてロケット打ち上げとは、俯瞰してみれば極めてシンプルな仕事だ。組み立てて検査し、燃料を充填して発射し、経路と動作を監視する——。

しかし実際の作業は何十万ステップにも及び複雑に絡み合う細かな手順やイベントや判断の集合体であり、例えばこんなディテールに彩られている。

●打ち上げ時の火炎から設備を守る放水ポンプは、ジェットエンジンを動力源としている。
●ロケット発射指揮者は、10チャンネルのインカム通話を同時に聞いて判断を下す。
●雲観測の航空機には気象予報士が乗り込み、地上で連絡を受けるのも気象予報士。
●推進薬充填後のロケットは、消防法の想定を超える「危険物」である。
●前任から引き継ぎ時、射場管制官に送られる言葉は「落ち着いて急げ」。
●固体ロケットの内部は打ち上げ直前まで窒素ガスで満たされ、空調が続けられる。

今回の打ち上げ成功後、打ち上げ業務はJAXAの手を離れ民間移管される予定だ。まばゆい光と爆発音を伴って天に駆け昇るロケットを支える「見えない仕事」を、JAXA職員の現場からの証言を交えながらなぞってみたい。

打ち上げの舞台裏

ロケット打ち上げ時には、通常の開発体制の枠を超えた組織横断的な「打上隊」が編成される。打ち上げ成功というゴールを目指し、隊員たちはチームワークで準備作業を進めていく。各班の打ち上げに向けた動きを追った。

ロケット打ち上げを支える「見えない仕事」

「ロケット打上隊」
多くの班や係で編成される打上隊。
今回は7つの仕事にスポットを当てた。

ロケット発射指揮者

打ち上げ作業全体の指揮を執る

ロケットを組み立てる「射場整備作業」が終わると、「発射整備作業」が始まる。LCDR（ロケット発射指揮者）は、射点近くにある大型ロケット発射管制棟（5ページ地図の❹通称ブロックハウス）の地下に設けられた発射管制室に陣取り、アシスタント3名と交替シフトを組んで作業全体を見渡す。並行して行われる多くの作業の進行状況はインカム（構内通話システム）で知らされる。ロケット系で6チャンネル。車両や設備など他のチャンネルも含めると常時10チャンネル前後の回線全てをモニターして全体の作業の進行状況を把握しつつ、作業の進行度合いを調整し、タスク間の干渉を回避する措置をとるのがLCDRの役割。なおCDRとは、オーケストラの指揮者と同じ「コンダクター」の意。

射点から約500m離れた地点の地下12mにある発射管制室。発射整備作業期間の指揮・監督を行う

設備班

地上設備をパーフェクトに保つ

VABの内部にはクレーンやハネ上げ式の可動床が備えられ、ロケットを射点に移動するときに開く高さ67.5m幅27mの扉はギネスブックにも登録されている。ロケットを載せた移動式発射台は、28軸56輪の巨大な運搬台車2台によって射座（5ページ地図の❶や❷）まで運ばれる。
打ち上げ時の轟音を低減し噴炎から設備を守るため放水が行われるが、そのためのポンプの動力には電動モータに加え航空機のジェットエンジンにも使われるガスタービンを利用している。毎分30万リットル（H-ⅡB打ち上げ時）、25mプールを1分で一杯にする勢いで放水が行われる。これら機械設備のなかで、想定通りに動かないものが1つでもあれば、打ち上げプロセスは先に進まない。設備の常日頃の保全と打ち上げに向けた点検を担うのが設備班だ。

機体を運ぶ「移動発射台運搬台車（通称ドーリー）」。前後左右に動くことができ、その場で180度回転も可能

ロケット班

機体を確実に仕上げる

輸送

「ロケット班」の仕事は、機体の種子島到着から始まる。最も大きいのは、専用コンテナに収められた第1段機体。種子島西岸の島間港に到着すると、作業の継続可否を決めるために天候判断が行われる。クレーンで船からコンテナを吊り上げる「水切り作業」は風雨や波浪に大きく左右されるためだ。港から種子島宇宙センターまでは約20km。トレーラーに載せ、深夜に約4時間かけて運ばれる。道路交通法が定める高さ制限は3.8mだが、H-ⅡBロケットは機体の直径が5.2m。道路管理者に毎回申請し、通行許可を求める。経路にある交通標識や信号機には、コンテナと干渉しないよう可動式のものもある。スタッフは約20kmの経路の大半を徒歩で同行する。

種子島宇宙センターへ向かう第1段機体を搭載したトレーラー

組み立てと点検

種子島宇宙センターの大型ロケット組立棟（VAB/5ページ地図の❸）に搬入されたロケットは、結合・組み立て、各種機能点検が実施される。機体と地上設備を一体のシステムとして運用するため、ロケットと地上設備とのインターフェースの確認や、設備の健全性確認を行う。

機体の試験

機体開発時にペイロード（人工衛星など、ロケットにとっての積荷）を搭載しない状態で行う燃焼試験をCFT（実機型タンクステージ燃焼試験）、機体を完全に近い状態に組み上げ燃料充填までを行う試験がF-0（エフゼロ）と呼ばれる。いずれも重要な試験だが、F-0では極低温の液体酸素や液体水素を充填した状態で機体や設備の機能を確認するため、極低温試験とも呼ばれている。H-ⅡBロケットでは1号機でCFTとF-0を、2号機ではF-0のみを実施してきたが、その経験を踏まえ3号機からはどちらの試験も省略できるレベルまで習熟が進んだ。品質の安定が工期短縮とコストダウンに直結している。

機体の完成

作業のハイライトの1つは、輸送時は横に寝ていた機体をクレーンで吊り上げて起立結合させる、VOS（ヴィークル・オン・スタンド）という作業。機体到着後、約1週間かけて実施する。高さ57mの機体をミリメートル単位の精度で据付操作する。第1段機体、第2段機体、固体補助ブースターとVOSが進み、各種点検が完了すると、その上にフェアリングに覆われたペイロードが結合され完成形態となる。打ち上げの5～6日前には「打上げ最終確認審査」が行われ、それまでの点検結果のレビューを受け作業継続の承認を得ることで、ロケット班はひとつのヤマ場を越えることになる。

第1段、第2段機体の結合の様子

気象係

雨風雷からロケットと人を守る

打ち上げのない時期は1名のみの気象予報士も、打ち上げが近づくと5～6名に増員され、24時間体制で、風や雨や雷などを監視・予測する。特に電子機器への影響が大きい雷については、付近に設置した雷センサや、気象庁、気象サービス会社からの情報提供をもとに、数時間以内に雷雲が種子島宇宙センター上空付近を通過する確率が大きい場合は注意喚起情報を発令。射点から20km以内で発雷が検知された場合は警戒報を発令し、屋外や高所作業などを中断することになっている。

射点にはロケットを囲むように2基の避雷鉄塔が設置されている

飛行安全班

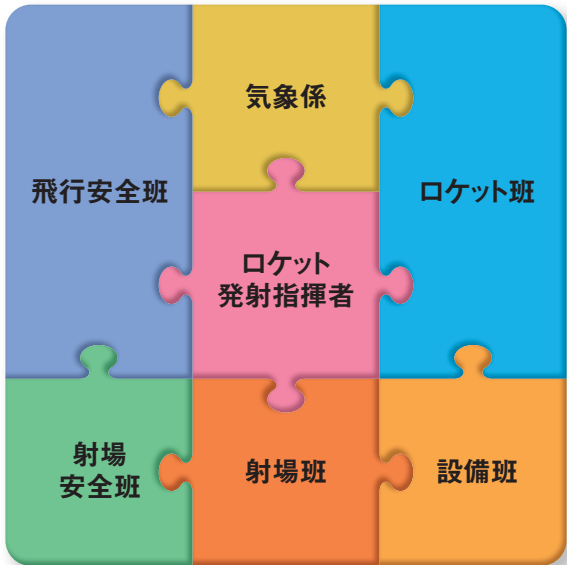
飛行中のトラブルに即応する

ロケットは飛行中、常に自機の位置や速度、機体各部の動作状況を地上に知らせている。また地上からも光学カメラやアンテナで追尾し、予定通りの飛行コースに乗っているかどうかを確かめている。万一、予定のコースを大きくそれることになった場合は、地上や海上での被害を最小化するため命令を送りロケットを破壊する。日本では過去に2度だけ行われている。この重い任務に当たるのが「飛行安全班」だ。打ち上げごとに指名された数名の担当者が、約2週間かけてさまざまなトラブルを想定した訓練を続ける。機体の故障や地上設備の故障。それらが同時に起きた場合や故障箇所が判然としないケース。故障とはいえないが、エンジンの性能が予想を下回る場合や上回る場合など約30パターンの異なるシナリオが毎回用意される。もちろん事前に内容は知らされず、うまくいかなかった場合は追試験もある。
H-ⅡAロケットの民間移管以降もこの業務はJAXAが担当しており、H-ⅡBでも同様だ。ちなみに想定シナリオには気象条件に起因するトラブルや、地上設備の全電源喪失も含まれている。

射場安全班

作業員と島の安全を守る

いってみればロケットは危険物のカタマリ。「こうのとり」の推進や姿勢制御のために使われるヒドラジンは、信頼性の高い推進薬ではあるが、人間にとっては危険。充填に際しては、他の整備作業は一切行わず、スケープスーツと呼ばれる全身を覆う防護服を着用した必要最小限のスタッフが作業に当たる。この他にも段間やフェアリングを分離する火工品（火薬）や導爆線が機体各部に張り巡らされており、固体ロケットブースターに充填されている推進薬も火薬そのもの。射座に据え付けられてからは液体水素・液体酸素が充填され危険度が増す。巨大で重いものをクレーンで扱い、高所作業も発生する仕事だけに、安全管理にはいっそうの注意が必要だ。
さらに、種子島宇宙センター敷地内での立ち入り禁止区域の設定や警戒、船舶・航空機の監視や警告なども射場安全班の仕事である。

種子島宇宙センターの敷地内には2台の消防車が装備されている。「こうのとり」への推進薬充填作業や火工品などを取り扱う際や、打ち上げ当日に出動する

射場班

ロケットを電波で見守り、見届ける

ロケットと地上、地上の各局と管制室との通信回線が確保されていることは打ち上げの必要条件であり、増田宇宙通信所（射点の北約18km）や内之浦、小笠原など遠隔地の通信設備とは、異なる2つ以上の通信回線で結ばれていなければ打ち上げ作業は先に進めない。また、ペイロードを分離して仕事が終わるわけではなく、H-ⅡBでは「第2段機体の制御落下」も行うため、地球を一周し再び水平線から昇ってくる第2段機体を捕捉、通信リンクを確立するという業務も射場班の仕事に加わった。

小笠原追跡所のロケットテレメータアンテナ。飛行経路や飛行状況の確認、飛行安全の確保のために電波で追尾する。データはリアルタイムで種子島宇宙センターに伝送

種子島宇宙センター 大型ロケット発射場 配置図

❶第1射点：H-ⅡAロケットを打ち上げる
❷第2射点：H-ⅡBロケットを打ち上げる
❸大型ロケット組立棟：組み立て・点検・整備を行う
❹大型ロケット発射管制棟：打ち上げまでの作業に対する指揮・監督を行う

「ロケット打上隊」に直撃！

最も気を抜けない瞬間、
喜びを感じる場面などなど、
現場で働く打上隊の
生の声をレポートします。

ロケット
打ち上げを支える
「見えない仕事」

打上実施責任者

「技術を伝え、考え抜くことを伝え ロケット野郎を育てたい」

私たちの世代は何もないところからロケットを作り始めました。アメリカに教えてもらいながらゼロから作り上げ、失敗を経験し、失敗から立ち直るところまで、エンジニアとして非常にぜいたくな経験をさせてもらいました。すぐ下の世代も失敗とリカバリーは経験しています。今のH-ⅡA、H-ⅡBの打ち上げがこれだけ順調なのは、その蓄積があるからこそです。失敗を通して根付いたのは、不具合に直面しても、表面だけにとどまることなく、根本的な原因やメカニズムに立ち戻って考える習慣です。

ロケットが飛ぶ時に起きている現象なりメカニズムなりは、まだ全てが分かっているわけではありません。人間が使っている輸送システムのなかでは、クルマや鉄道や飛行機に比べると「分かっていること」のレベルがだいぶ違います。空気の壁を破って200km以上の上空に昇り、なおかつ秒速7.7km以上の速度を出さないと落っこちてしまう。必要とされる速度も桁が違いますから、これは過酷な仕事だと言わざるを得ません。人が普通に乗れるような信頼性のある交通システムにするためには、まだまだやるべきことはたくさんある。そのためには"ロケット野郎を育てる"ことも大事です。

次世代ロケットを作る中心となるのは、今20代～30代の世代です。彼らは、H-ⅡA、H-ⅡBがちゃんと上がっている姿しか見ていない。失敗を経て学べば成長するのは間違いないのですが、もはや失敗はするわけにはいかない。脳みそから血が出るくらい、考えて考えて考え抜くような経験を重ね、その中でだんだん頭角を現してくる人をリーダーに据えて、さらに経験を重ねていくしかないのだろうと思います。

ロケットの打ち上げは他のどんな仕事に似ていますか、と聞かれたことがあります。私は思いつかなかったが、ある人が「式年遷宮に似ている」と言っていました。伊勢神宮は20年ごとに本殿をリニューアルすることで、ノウハウが途切れることなく受け継がれています。ロケットも似たところはあります。毎回同じような打ち上げ作業を、少しずつ人が入れ替わりながら繰り返し、技術を伝えていくという部分です。また開発や熟成に10年、20年スパンでの計画が必要である点もそうかもしれません。

いずれにせよ失敗するわけにはいかない仕事です。若いエンジニアには、私たちシニア世代の経験からくる「こういう場合はどう対応するんだ」「どこまで影響が及ぶかきちんと考えてるか」といった小言やらアラ探しやらのプレッシャーに立ち向かい、本物の"ロケット野郎"に育ってほしいと願っています。

遠藤 守
ENDO Mamoru
理事/宇宙輸送ミッション本部長

飛行安全班 「安全の最後の砦です」

打ち上げ前の訓練では、ロケットと地上系の設備に同時にトラブルが起きる事態も想定しています。極端に言えば「全電源喪失」のような事態もシミュレーションに含まれています。また、打ち上げ直前に、当日の風に基づいて最終的な飛行経路が定められますが、飛行安全の見地からも問題ないかどうかを確認する作業があります。今後この仕事に関わる後輩には、「安全に関しては飛行安全班が最後の砦だから、妥協してはいけない」ということを、業務を通して伝えていきたいと思っています。

小松満仁
KOMATSU Mitsuhito
飛行安全室
開発員

「緊張感は1周回後まで続きます」

少しでも不具合があったらすぐにロケットを破壊する、というわけではありません。でもいつまでもリカバリーさせようと頑張るわけにもいきません。どこに異常が起こったかをリアルタイムで判断する訓練は重ねていますが、どの線までがセーフでどこを超えるとアウトなのか、という基準はきちんと明文化されています。また、H-ⅡBでは第2段機体を安全な場所に落下させる"リエントリ（制御落下）ミッション"もあり、緊張感は地球1周回後まで続きます。

井上高広
INOUE Takahiro
飛行安全室
開発員

「民間移管後もJAXAが担います」

打ち上げ中に「人命や財産などに危害を及ぼす可能性がある」と判断されれば、飛行中断をすることになります。そういったロケット飛行中の判断だけでなく、その前段階の確認・準備も重要です。「ロケットの飛行予定ルートは安全に設計されているか」「機体が自身の状態を地上に伝えるための十分な装置を備えているか」「機体の情報を監視するための地上設備の準備は万全か」などをチェックする作業を、号機ごとに相当な時間をかけて行います。こういった飛行安全の業務は、民間移管後もJAXAがしっかりと責任を持って担っていきます。

和田伸一
WADA Shinichi
飛行安全室
開発員

射場安全班 「全ての作業に安全第一」

危ないもの」は別々にして離して置いておくのが当たり前の考え方で、日本の法律もそのようにできています。しかしロケットの射場では、一般の産業で取り扱わない危険物や爆発物が、1カ所に大量に集められています。ですから、安全を確保するためのルールも国内法だけに頼るわけにはいきません。例えばロケットが射点で爆発したとする。被害をもたらすのは爆風、熱線、飛散物です。最も遠くまで被害が及ぶのは爆風ですが、爆風が1m×0.9mで厚さ3mmの窓ガラスの1％を割ってしまうレベル、圧力に直すと1.379キロパスカルとなる距離を、保安距離として設定しています。この数値は、推進薬量などによって毎号機変わり、H-ⅡBでは2,090mとなっています。さらに空中で破壊され、落下散する破片の被害も考え、地上の立入禁止区域を3kmとしています。こうした基準を海外のデータや過去の経験を踏まえて独自に定め、使ってきました。海外のロケット打ち上げと比べても、日本ではかなり安全を重視して警戒区域が設定されています。安心して見に来て下さい（笑）。ヒドラジン充填や火工品結線など危険度の高い業務はもちろんですが、機体や人工衛星輸送に伴う安全管理、打ち上げのために行われる全ての作業に安全第一で臨んでいます。

成尾俊久
NARIO Toshihisa
輸送安全課
主任開発員

気象係 「お天気には悩まされます」

地上付近（高度10km程度まで）では、基本的に気温は上空に行くほど低くなりますが、0℃～マイナス20℃の間を氷結層といいます。氷晶やアラレが存在するであろう雲の中をロケットが突っ切っていくと、雷を誘発する可能性がある。そのため、氷結層を含む雲の厚さが1.8km以上あるときは打ち上げを行わないというルールがあり、下から見ているだけでは分からない部分もあるので、実際に打ち上げの約2時間前から飛行機を飛ばして雲の中の様子を見に行っています。私が最初に担当したのがH-ⅡA17号機でしたが、氷結層を含む雲が原因で打ち上げは3日延びました。観測機と地上との非常に緊迫したやりとりが記憶に残っています。近年安定した打ち上げを見せる日本のロケットですが、お天気には悩まされることが多いです。現在、雷制約の適正化を目的とした研究を雷専門家にご協力いただいて実施しており、その一環で、電界センサーを搭載した航空機で雲の中に入り、氷結層を含む雲の内部データを取得するなどの実地観測も行っています。また、ロケットの最終的な飛行経路設定や、飛行安全解析のために必要な高度20km程度までの風を観測するのも私たちの仕事です。1回の打ち上げで約15個のGPSゾンデを上げていますが、2011年度からは夏期・冬期だけでなく通年の打ち上げが可能になったため、季節ごとの高層風データをより多く集めておくことが重要になっています。打ち上げ期間以外もゾンデを上げて集中観測を行い、データ蓄積を行っています。

長福紳太郎
CHOFUKU Shintaro
射場技術開発室
開発員

ロケット発射指揮者 「一体感がたまりません」

Y-4（打ち上げ4日前）から始まる発射整備作業を指揮しています。「ドライラン」と呼ばれる、打ち上げ当日と同じオペレーションを行うリハーサルでは、これでもかというくらい次々とトラブルが振りかかってきます。機体だったり設備だったり通信回線だったり、時間が迫るなかでそのトラブルの性質を把握、打ち上げに影響があるかないか、瞬時の判断が求められ、トラブル対処が決められた時間内で終えられるかどうかも判断しなければなりません。通しのドライランを2回、1回は間違いなく対処すれば打ち上げられるシナリオ、もう1回は打ち上げられないシナリオで実施しますが、やってみたら打ち上げを中止する必要はなくて、打ち上げられちゃったこともあります。シナリオの出題者の裏をかいたようでちょっと気持ちよかったです（笑）。アシスタント3名とシフトを組んで作業に当たりますが、打ち上げ9時間前のターミナルカウントダウンからは私がメインで指揮を執ります。一番気合いが入るところです。最後の270秒を過ぎると、自動カウントダウンシークエンスに入りますが、ここからは何かあった場合「止める」のが私の仕事です。打ち上げまで、100人近くが作業を続ける発射管制室の"空気を読んで"います。インカムで連絡が来るより先に、何か異常があればざわつきますから。緊急停止ボタンのフタを開け、ボタンに手をかけた状態で過ごすその時間は、みんなで打ち上げに向けて進んでいるんだという一体感をすごく感じますね。

白石紀子
SHIRAISHI Noriko
H-ⅡBプロジェクトチーム
開発員

射場班 「落ち着いて急ぐのが大事」

打ち上げにかかわる通信各局のコントロールをする射場管制官＝RCO（レンジ・コントロール・オフィサー）を担当してきました。仕事としては大きく3つに分けられます。地上から飛行中のロケットの位置と速度を知る「レーダー」、動作データを地上に伝える「テレメータ」、そして万一の場合に命令を送る「コマンド」です。これらシステムの指揮を執り、ロケットの追尾を行います。高い信頼性が求められるのは当然ですが、例えばテレメータでSRB-Aや人工衛星の分離時の映像もダウンリンクするなど、期待される内容が少しずつ変わっている部分もあります。前任者からの引き継ぎ時に言われたのは「落ち着いて急ぐ」ということ。自分たちの仕事が遅れたりミスをすると、それらが全体に波及してしまいます。追尾用のアンテナを動かす各局のオペレータは、メーカーの大ベテランの方が配置されますので、そうした皆さんと協力しながら、トラブルを乗り切ってきました。現在はRCOを離れましたが、後任も女性エンジニアです。1機でも2機でも多く打ち上げて、「急ぐけれど落ち着いて」を実感しつつ、ステップアップしてくれればと思っています。

嶋根愛理
SHIMANE Eri
宇宙輸送系要素技術
研究開発センター　開発員

ロケット班 「生データに触れられる貴重な経験」

H-ⅡBロケットでは、LE-7Aエンジンを2基束ねて使う「クラスタ推進系」の開発を担当したこともあり、H-ⅡBプロジェクトチーム発足当初からチームに配属されました。打上隊ではロケット班の一員として組立点検や発射作業などの全般を見ています。打ち上げの時、ロケットと地上設備が一体のシステムとなって動作します。ロケットは毎号機新品ですが、地上設備は20～25年ぐらい前にH-Ⅱロケット用に整備されたものもあり、これらを使い続け連続して打ち上げを成功させる難しさがあります。打ち上げに向けた最終審査会を終えると、約3日間の最終の発射整備作業を進め、ロケットを発射します。打ち上げ後に行う「打ち上げ成功の打ち上げ（お祝い会）」も、私の仕事の1つです（笑）。立場に違いはあっても同じ志を持つ仲間と成功の喜びを分かち合えるのは、素晴らしいと感じます。H-ⅡBロケットは次号機から民間による打ち上げ輸送サービス化される計画で、現場で生きたロケットに触れ、生データを見るという、エンジニアとしての基礎を身につける機会がJAXAからまた1つ減ってしまいます。何か手はないか、やれることはないだろうかと考えているところです。

小林 清
KOBAYASHI Kiyoshi
H-ⅡBプロジェクトチーム
主任開発員

設備班 「不具合での遅れはゼロです」

数多くある打ち上げ設備のうち、1つでも健全に動かないものがあると、基本的に打ち上げはできません。たとえばVAB（大型ロケット組立棟）の建屋。内部のクレーン、ハネ上げ式の床。ギネスブックでも認定された世界最大の大扉。ロケットを運ぶ移動発射台。人工衛星のための空調設備。打ち上げ時に必要な冷却水や散水設備、推進薬の充填設備や配管。発射管制システムや電源供給・制御ラインなどのインフラ設備……。ロケットは毎回新品ですが、種子島宇宙センターの設備には25年選手も多くいます。単に点検や補修だけでなく、今後のメンテナンスや改修をどういう方針でやっていくかを日頃から考えて保全をしていかないといけません。やるべきことをやって、打ち上げ日には何も特別なことをする必要がないようにする、というのが理想です。そして、過去5年間で設備系の不具合で打ち上げが遅れたことはゼロなんです。この辺の日本の優秀さはアピールしたいところですね。

小谷 勲
KOTANI Isao
射場技術開発室
開発員

筋肉の萎縮や骨量減少のメカニズムを探る
水棲生物実験装置

2012年7月に打ち上げられる宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機には、魚を宇宙で飼育するための水棲生物実験装置（AQH：Aquatic Habitat）が積み込まれる。AQHは、微小重力や宇宙放射線などの宇宙環境が生物の体に与える影響を調べる実験に使われ、「きぼう」日本実験棟の多目的実験ラックに据え付けられる。この装置で最初に行われるのは、宇宙でメダカを飼育し、骨量が減少していくプロセスを調べる実験だ。その成果は地上での骨粗しょう症の原因解明や、治療方法の開発にも繋がると期待されている。

餌やりも水質管理も自動の完全閉鎖系システム

宇宙で長期間にわたって魚を飼育するため、AQHにはさまざまな工夫が必要だった。

「宇宙で水を使う実験というのは非常に限られています。まして生き物を長期間飼育する装置は国際宇宙ステーションでも1つだけで、開発には苦労しました」と、JAXA有人宇宙環境利用ミッション本部・宇宙環境利用センター・船内利用ミッショングループの白川正輝技術領域リーダは語る。

「水が漏れないように密封し、センサーで水質を厳密に測定しています。また、宇宙飛行士の負担を少なくするために給餌を自動化し、メンテナンスを減らす工夫もしてあります。他の国にはない非常にユニークな装置が出来上がったと思います」

AQHは、幅900㎜、高さ600㎜、奥行きは700㎜。水槽は完全に密封された状態になっており、医療に使われる人工肺という機器を経由して水が循環する仕組みになっている。魚が呼吸するのに必要な酸素は人工肺から供給され、吐き出した二酸化炭素もここで除去される。水質はバイオフィルタと呼ばれる微生物を利用したフィルタや、魚のふんなどを除去するフィルタによって維持されており、水はきれいに保たれる。さらに、魚や水質の状況は、地上からも常にモニターしている。

また、微小重力下では水槽のふたを開けて餌を与えるわけにはいかないので、餌をテープに貼り付け、決められた時間に決められた量だけ与えることのできる自動給餌装置が開発された。時間がくるとこのテープが送りだされて、魚は餌を食べることができる。餌の量は魚の成長段階に応じて増えるようにあらかじめ調節されている。

水槽上部には撥水性の高い材質の格子が設置され、一定量の空気の層を作り、人工水面としている。人工水面の上にはLED照明が配置されており、メダカは光の方向から人工水面にたどり着くようになっている。重力以外は、ほぼ地上と変わらない環境だ。

このようにAQHは可能な限り自動化されているが、宇宙飛行士がしなければならない作業もある。輸送カプセルに入れられて国際宇宙ステーションに運ばれてきた魚を水槽に入れる作業、長期飼育の場合の水質や装置の維持作業。もう1つは、地上で解析するために、AQHで飼育した魚を取り出して地上に持ち帰る際、容器に入れる作業である。

メダカに起きる変化は人間にも起きる

AQHではメダカやゼブラフィッシュのような小型の魚を飼育する。日本の研究で主にメダカが使われるのは、実験動物としてこれまで多くの研究で使われてきた上、全ゲノムが解読されているからだ。AQHは最長90日間の飼育が可能なので、メダカであれば、3世代にわたる飼育が可能である。

AQHで行うメダカの実験の意義について、独立行政法人産業技術総合研究所フェローで幹細胞工学研究センターの浅島誠センター長は、

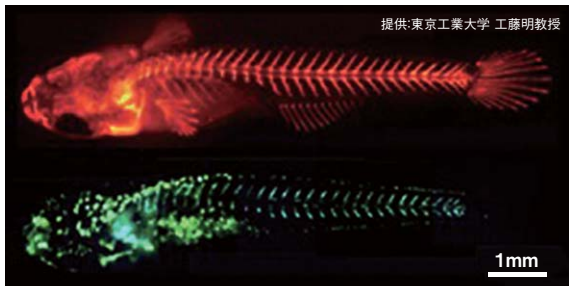
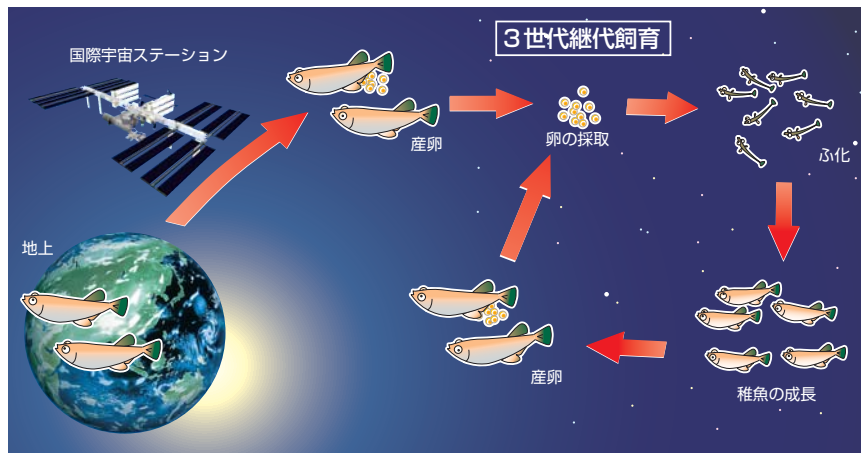
「メダカは脊椎（せきつい）動物ですから基本的には私たち人間と同じです。宇宙環境で人間の体が受けるいろいろな影響について、貴重な情報を与えてくれると思っています」

と語る。また、メダカの3世代にわたる飼育については、

「メダカが宇宙で産卵したことはあったのですが、そのメダカが育って、さらに次の世代を生むという実験は、これまで宇宙では行われませんでした。ですから、世代を超えたメダカの実験に寄せる期待というものは、非常に大きいと思っています」

今回の実験は、東京工業大学大学院・生命理工学研究科の工藤明教授が行うもので、宇宙で骨が減るメカニズムを調べることを目的としている。地上では「破骨細胞」による骨の吸収と、「骨芽細胞」による骨の形成のバランスがとれており、骨密度は一定に保たれている。しかし、宇宙に行くとそのバランスが崩れ、骨が減っていく現象がみられる。この現象には破骨細胞の活性化が関係している可能性がある。工藤教授の実験は、これをメダカで調べようというのだ。

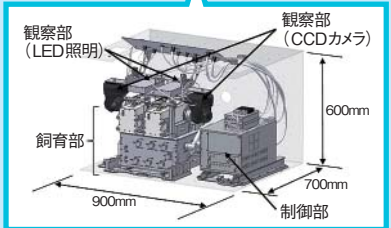
実験には、破骨細胞が緑に、骨芽細胞が赤に光るようにした特別なメダカが用いられる。このメダカをAQHで2カ月にわたって飼育し、微小重力の環境下で破骨細胞が活性化しているかどうか、骨芽細胞が減ってはいないかなどを調べる。

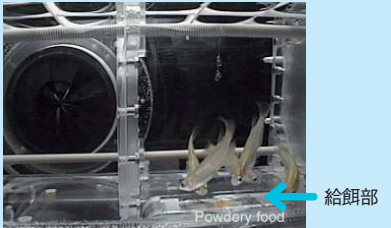
「骨密度が減少するメカニズムを知ることは、宇宙飛行士が宇宙空間でより長く活動できることにつながります。また、骨粗しょう症の原因解明や治療薬開発にも、非常に有意義だと思います」と、工藤教授は語る。

骨芽細胞と破骨細胞の様子を観察するために、骨芽細胞を赤色で、破骨細胞を緑色で見ることができるメダカで実験を行う

今回の実験では世代交代は行われないが、AQHは3世代の継代飼育が可能で、地上の重力を経験したことのないメダカが誕生する

軌道上での作業は星出彰彦宇宙飛行士が行う。画像は筑波宇宙センターでの訓練

宇宙でメダカを飼う方法

長期間、健康に過ごせる完全閉鎖系システム

AQHは、最大90日間のメダカの3世代継代飼育が可能です。その間、水槽の水が浮いて外に飛び出し、周りの設備に影響を与えないよう、完全に水を閉じ込める仕様になっています。フンなどを除去するフィルタや、バイオフィルタを使って水をきれいにするので、限られた水量で健康に過ごすことができます。

宇宙飛行士の手間いらず自動で餌やり

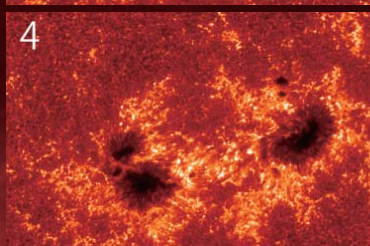
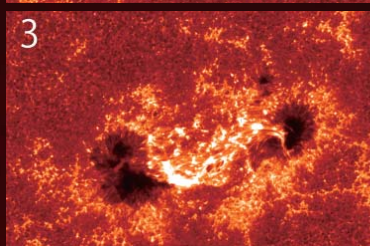
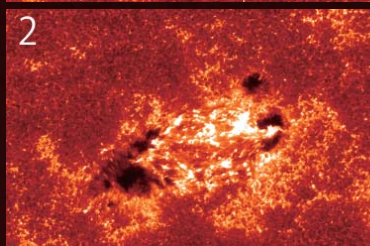
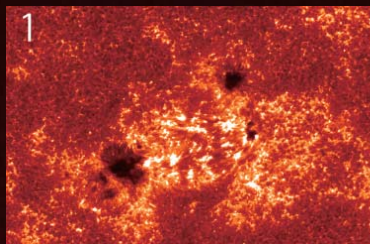
宇宙での餌やりは地上のようにはいきません。水槽のふたを開けると水が飛び出しますし、上から餌を落としても下には落ちません。また、毎日の餌やりに、多忙な宇宙飛行士の時間をさくことはできません。そこで開発されたのが「自動給餌装置」です。餌を封入したテープが決まった時間に開き、決まった量を与えることができます。

水槽床面で餌が封入された給餌テープが1回分づつ自動で開封される

人工肺で空気を供給水槽上部に空気層も

メダカがえら呼吸で取り込む酸素は「人工肺装置」で供給され、同時に水中の二酸化炭素を取り除きます。また、稚魚が浮き袋を膨らませるためには空気層が必要となるため、撥水性の格子を水槽上部に取り付けて空気を保持。上方向から照明を照らすことで、地上と同じように光の方向に浮上すれば空気を吸えるようになっています。

極大期の幕明け。

太陽活動は、黒点が少ない極小期と、黒点が多数出現する極大期を周期的に繰り返している。
2006年の打ち上げ後、非常に長い極小期の“静かな太陽”を観測してきた「ひので」だが、
2011年ごろから、巨大フレアや浮上磁場活動を捉えることが多くなった。
“ダイナミックな太陽”の到来が間近に迫っている。
新たなサイクルの幕明けを告げる現象の数々をご紹介しよう。

彩層ガスの噴出
太陽縁から噴きあがった彩層ガス。長さはおよそ5万km

黒点群の誕生
太陽内部から磁場の浮上が大きな規模で発生したとき、太陽表面に黒点が形成される。微小なフレアが頻繁に発生し、白く輝いて見える

にぎやかさを増した太陽コロナ
太陽フレアなど激しい活動が起こる“活動領域”が幾つも太陽面上に現れ、活動が上昇中であることが分かる。日本で金環日食が見えた時間の直前に撮影（2012.5.21）

コロナ質量放出
太陽縁のすぐ裏側で発生したフレアによって、ねじれたコロナ磁場が大量のコロナ物質を伴い上空に飛び出した現場。地球に到達した場合、磁場が乱れ、通信障害などを引き起こす

大規模フレアの前触れ
東側の太陽縁から見えてきた活動領域。いくつもの黒点からなる複雑な磁場配置をしている。この画像を撮影した10時間後に大規模（Xクラス）フレアが発生した

画像:JAXA/国立天文台

極小期から極大期へ
「ひので」が捉えた新しい太陽の姿

太陽観測衛星「ひので」のミッションは、可視光・X線・極紫外線で観測する3つの最新鋭の望遠鏡を搭載し、太陽の磁気活動のメカニズムを解き明かすことです。太陽活動は2013年ごろに予想される〝極大期〟に向け、現在上昇中です。「ひので」の最新観測から見えてくる太陽の姿を「ひので」プロジェクトチームの清水敏文准教授に、極大期の太陽がもたらす地球への影響を、(独)情報通信研究機構で宇宙天気予報を発信している亘慎一研究マネージャーに聞きました。

清水敏文
SHIMIZU Toshifumi
宇宙科学研究所
太陽系科学研究系
准教授

3つの望遠鏡を駆使し高解像度で精密に観測

「ひので」は2006年に打ち上げられ、かれこれ6年近く軌道上から太陽を観測してきました。世界中の太陽関連研究者が観測や解析に参加してさまざまな研究が行われ、既に600編以上の査読論文が発表されています。宇宙科学の分野では画期的なことです。「ひので」の何がすごいかというと、載っている望遠鏡です。「可視光・磁場望遠鏡」は口径50cmで、これまで宇宙に上がった太陽望遠鏡としては最大。太陽を0.2~0.3秒角という高解像度で見ることで、太陽表面の150~200kmの構造を調べることができます。さらに、ダイナミックな現象を引き起こす源である磁場を「偏光」の精密測定によって知ることができます。

「X線望遠鏡」は、1秒角の解像度でコロナを撮像観測し、100万度から1000万度以上の非常に広い温度領域を観測できます。「極端紫外線撮像分光装置」は、コロナの出す紫外線スペクトルを精密に観測する能力を持っています。

科学者が「ひので」で観測したいことは多岐にわたっています。「光球」と呼ばれる太陽表面で太陽磁場がどう振る舞っているかを詳しく見たい、コロナが非常に高温である原因を探りたい、太陽フレアという大量のエネルギーが一瞬で放出される爆発現象がなぜ起きるのかを知りたい、などです。

「ひので」によって、それらについての新しい知見が得られてきています。例えば高解像度観測のおかげで、微小な振幅でガスが振動している様子がいたるところで初めて発見され、特に磁力線を伝わる波も初めて捉えられました。また、光球とコロナの間にある「彩層」と呼ばれる層では、あちこちでガスがダイナミックに吹き出すジェット現象や、ナノフレアと考えられる非常に小さなフレアが普遍的に起きていることが分かりました。これらの発見は、コロナがなぜ高温であるかを解くための大きな一歩です。

大規模現象から磁場の振る舞いを解き明かす

「ひので」の最近の成果を幾つかご紹介しましょう。

太陽黒点は太陽表面にある代表的な構造ですが、いつどこに出現するかは事前に不明なので、これまで、黒点の生まれたての様子はよく分かっていませんでした。「ひので」の可視光・磁場望遠鏡は、これを連続的に高分解能で観測することに成功しました(下段「ひので」NEWS参照)。成長した黒点には、周囲に半暗部というやや暗い構造を伴っていますが、生まれたばかりの小黒点にはこれがありません。「ひので」の観測は、小黒点でもすでに上空の彩層には半暗部状の前駆構造が作られており、この構造が光球に下がってきて半暗部ができることを示しました。この発見は、黒点が成長し、存在する仕組みを理解する上で重要です。

「ひので」が打ち上げられた06年は、太陽活動が低調になっていく下降期でした。その後、歴史的に見ても非常に長い極小期を経て、09年ごろから新しい活動周期に入り、徐々に太陽活動が活発になってきました。「ひので」は、11年2月15日に巨大なフレアを久しぶりに捉えました(下段参照)。可視光とX線の両方で観測し、爆発に至るまでの磁場の変化や爆発の詳しい様子などが明らかになっています。

フレアは普通、X線や水素やカルシウムの原子が出す電磁波で観測されますが、規模が大きくなると、可視光でも増光が現れることがあります。これを白色光フレアと呼んでいます。「ひので」とNASA衛星との共同観測によって、白色光の発光が高速に加速された電子によることが分かりました。

「ひので」による太陽極域の観測も目が離せません。極域は横から見るため見え難い領域ですが、太陽の自転軸が7度ほど傾いているため、3月ごろは南極が、9月ごろは北極の領域が少しだけ見えます。この時、両極の磁場の様子を「ひので」望遠鏡の高解像度・高精度の性能によって調べることができます。最近の観測で、極域磁場の極性が通常より早く反転しつつあるという興味深い事実が見つかっています。

今回の太陽活動周期の極大期は13年ごろと予想されています。現在「ひので」の観測は、活動的な太陽に重点をおいて行われています。巨大フレアやコロナ質量放出という大規模な現象や、そのときの磁場の振る舞いを是非研究したいと思っています。そこには、これまで「ひので」で〝静かな太陽〟を観測して得られた知見も十分に生かされると思っています。(談)

「ひので」NEWS

黒点の成長過程が明らかに

太陽活動が活発になると数多く出現する黒点。黒点は、「暗部」と呼ばれる暗い部分と、その周囲の「半暗部」と呼ばれる薄暗い部分で構成される(右画像:可視光・磁場望遠鏡で撮影)。これまで黒点の成長過程はよく分かっていなかったが、「ひので」による連続観測で、小黒点の誕生直後に、それを取り巻く半暗部に相当する前駆構造が、上空の彩層ですでに形成されていることを発見した。

▶誕生したばかりの小黒点の光球での様子(上)と、上空にある彩層の様子(彩層を見ることができる波長で観測。中央・下)。小黒点を取り巻くように円環状の構造が見えている。これが半暗部のもととなる構造で、時間がたつと小黒点の周りに降りてきて、半暗部として現れ、黒点となることが分かった。半暗部の前駆構造の可視化により、フレア爆発などを引き起こす活動領域の発達の予測に役立つことが期待されている。

今サイクル初の巨大フレアを観測

太陽活動は11年周期で変化するといわれているが、約100年ぶりの低水準にあった極小期が終わり、2011年2月15日に大規模(Xクラス)フレアが太陽面で発生し、これを「ひので」が観測した。前回のXクラスフレアの発生(06年12月)から4年以上経っていた。今後、13年に予想される極大期に向け、大規模フレアの発生頻度が高くなるとされている。右画像はX線望遠鏡によるフレア発生初期の様子。矢印の先が今回のフレアが起きた場所。

▶可視光・磁場望遠鏡がカルシウムH線で撮影したフレア。上からフレア発生初期、フレア終盤、その後。

太陽活動による宇宙環境の変動を予測する「宇宙天気予報」

太陽からの影響を最小限にとどめるために

太陽で大きな爆発現象が起こると、放出された電気を帯びた粒子が地球にやってきて、私たちの暮らしに影響が出ることがあります。1989年3月には、大きな磁気嵐が原因で送電線に誘導電流が流れ、カナダで大規模な停電が発生しました。今年3月に大規模な太陽フレアが発生した時には、アメリカの航空会社は、北極航路を通る便の飛行経路を影響の少ない低緯度に変更しました。太陽活動は極大期を迎えつつあり、ここ数年活発化しています。社会インフラへの影響を最小限にとどめるために、太陽の観測データなどをもとに予測を行うのが「宇宙天気予報」です。

宇宙天気予報を行う宇宙天気予報センターは世界にいくつかあって、日本では情報通信研究機構(NICT)で、毎日予報会議を行い今日の予報を決めて配信しています。予報には、さまざまな太陽活動のデータが必要になります。地上で観測しているものもありますが、多くは太陽観測衛星からのデータです。「ひので」では、X線による太陽表面の画像データを利用しています。そのほかNASAの太陽観測衛星「SDO」や「SOHO」、「STEREO」、アメリカの気象衛星「GOES」が観測する太陽からのX線や高エネルギー粒子のデータ、さらに地上での地磁気や電離圏の観測データなどを総合的に判断して、予報を行っています。

亘 慎一
WATARI Shinichi
(独)情報通信研究機構
宇宙環境インフォマティクス研究室
研究マネージャー

宇宙天気予報は、人工衛星を運用している関係者に利用されています。国際宇宙ステーションでは、宇宙放射線の増加が予報された場合には、宇宙飛行士は遮蔽性の高い部屋に避難したり、船外活動の日程を変更しています。それから短波通信やアマチュア無線を利用している方、航空会社、電力会社など、個人から企業までさまざまに利用されています。予報内容はインターネット上で公開するほか、電子メールやFAXで送信しています。YouTubeの「NICTチャンネル」では、宇宙天気予報を動画で配信しています。

長期間の精密な「ひので」の観測に期待

「ひので」のX線望遠鏡で太陽を見ると、コロナホールという磁力線が外に向かって開いている低温領域が暗く写ります。宇宙天気予報では、このデータが役に立っています。コロナホールからは磁力線に沿って高速の太陽風が吹き出していて、地球の方向に吹き出すといろいろな影響を及ぼします。コロナホールから出た太陽風が地球に到達するまでにだいたい3日程度、「ひので」の観測データは最大でも1日後には出してもらえるので、予報を行う時間的な余裕は十分にあります。

「ひので」には、今後もできるだけ長い運用を希望しています。太陽の活動周期はおよそ11年ですので、そのくらい長期間の観測データが取得できれば、非常に助かります。「ひので」は狭い領域の精密な磁場測定も行っていますが、データ処理が必要で、リアルタイムで入手できないため、今のところ宇宙天気予報では利用していません。しかし、太陽の爆発現象は磁場のひずみが原因で起こるため、磁場データは大変重要です。将来、磁場の観測結果から太陽面にある黒点群の危険度が判定できるようになれば、宇宙天気予報の精度は上がると思います。「ひので」チームの今後の研究に期待しています。(談)

太陽で大規模なフレアが起きると、約8分で到来するX線、数十分～数時間で到来するエネルギーの高い粒子、2～3日後に到来する電気を帯びた粒子によって、地球の磁場が乱れる

最高の仕事で、最大の成果をあげるために
宇宙で求められるリーダーシップ

日本人宇宙飛行士初のコマンダーとして国際宇宙ステーション（ISS）の運用の指揮を執る若田光一宇宙飛行士。現在、2013年末予定の打ち上げに向けて訓練期間に入っています。クルーと地上スタッフとの間に立ち、成果を最大限に引き出すためのリーダーシップとは、今後の日本の有人宇宙開発が目指すべき方向など、詳しく語ってもらいました。

毎日の仕事や生活 緊急対応まで 全体指揮を執るコマンダー

――昨年2月に第38次／第39次長期滞在クルーに任命されました。そろそろ訓練も本格化してくるのでは。

若田　現時点で、ISS長期滞在のための訓練は私の全体の業務量の約半分です。JAXA宇宙飛行士グループ長でもあるので、仲間の宇宙飛行士の支援業務も多い。7月にISSに向かう星出宇宙飛行士の軌道上での作業計画などに関する支援や、野口、古川、油井、大西、金井、各宇宙飛行士の訓練カリキュラムに関して、JAXA、NASA、各宇宙機関の訓練担当との調整も行っています。昨年10月には大西宇宙飛行士がNEEMO（米国フロリダ沖の海底研究施設におけるNASA極限環境ミッション運用）15ミッションで大活躍してくれましたが、そういった訓練機会を獲得するのも業務の内です。7月には星出宇宙飛行士の打ち上げ支援をカザフスタンで行います。今後は2013年末からのISS飛行に向け、私自身の訓練も本格的になっていきます。

――今回の長期滞在ではコマンダーも務めるわけですが、その役割とは？

若田　訓練や打ち上げ前の準備、そして軌道上作業などにおいてリーダーとして指揮を執ることです。軌道上での仕事を円滑に進め、ISSの利用成果を出していくためのチームの取りまとめとともに、万が一緊急事態が発生した場合に適切なリーダーシップを執り、クルーとISSの安全を確保するために必要なアクションを確実に取っていくことも要求されます。ISSでの緊急事態は大きく分けて3つ、火災、急減圧、アンモニアなどの有毒物質の漏出です。緊急事態への対処方法は非常に複雑な場合もあり、コマンダーの適切な状況判断とリーダーシップにより、クルーのチームワークと地上管制チームとの連携がしっかり取れるか否かが、安全確保、そしてISS運用成功に大きな影響を与えます。

――打ち上げ前の仕事については、いかがでしょう。

若田　約半年間にわたる軌道上での仕事全体の流れや、各宇宙飛行士の業務負荷の配分なども宇宙飛行前に把握しておかなくてはなりません。私のISS滞在中にアメリカのスペースX社の「ドラゴン」やオービタルサイエンス社の「シグナス」などの物資輸送機が到着する可能性が高くなっています。各物資輸送機が接近する際に、誰が輸送機のシステム操作を担当し、誰がロボットアームを操作して輸送機を把持（はじ）し、ISSに取り付けるかといった役割を決めておく必要があります。また、船外活動を行う場合に誰が行い、誰がロボットアームを操作して支援するか、といった人員配置も各国の関係者と事前に検討して決めます。さらにクルー全員で宇宙飛行前に実施する統合訓練の回数や内容についても、無理のない日程で効率よく修了させるために、訓練チームの代表と綿密な調整を行っています。軌道上でのテレビ記者会見などの広報活動スケジュールの調整も行います。

このように、訓練以外でも宇宙飛行に向けた準備・会議などにかなりの時間を費やしています。

――一緒に長期滞在するクルーはどんな方ですか。

若田　ソユーズ宇宙船で一緒に上がるのが、ロシアのミハイル・チューリン宇宙飛行士とアメリカのリチャード・マストラキオ宇宙飛行士です。チューリン宇宙飛行士は既に2回のISS長期滞在を経験しています。マストラキオ飛行士はスペースシャトルで3回飛んでいて、前回のフライトでは山崎元JAXA宇宙飛行士と一緒でした。船外活動は6回もしています。そういう素晴らしいメンバーと一緒に仕事ができることをうれしく思います。この2人はISSに到着後直ちに仕事ができる強力なメンバーだと思います。

――今後の訓練の予定はどのようになるのでしょうか。

若田　ヒューストンでは、ISSのNASAの各システム、船外活動、ロボットアーム、実験装置などの訓練があります。ロシアの星の街での訓練では、ISSのロシアモジュールの各システムやソユーズ宇宙船の各システムの操作などについて学びます。ソユーズ宇宙船については、09年のISS長期滞在時にソユーズTMA-14で軌道上飛行を行いましたが、現在はTMA-Mという新型ソユーズになっていますので、旧型機からの変更点を中心に訓練を進めています。それから、筑波での「きぼう」日本実験棟や「こうのとり」に関する訓練もあります。ドイツのケルンにあるESA（欧州宇宙機関）の訓練施設では欧州のコロンバス・モジュールのシステムや実験の訓練、ATV（欧州の補給機）の訓練などを行う予定です。

――コマンダーとしての訓練は特別にあるのですか。

若田　ありますが、最大で25時間以内と限られた時間のカリキュラムです。コマンダーとして特別に行う地上での業務は、訓練より会議などが多いです。ISSの長期滞在が6人体制になってからは、アメリカ、日本、欧州、カナダの宇宙飛行士は、アメリカでの訓練はかなりするのですが、ロシアでの訓練をする時間は少なくなりました。ただしコマンダーは、ISS運用の安全を維持するために、ロシアのシステムについても理解しておくことが大事なので、全体的なシステム運用を習得するための訓練がロシアでのコマンダー訓練の中に追加されています。

最高の仕事をし 日本の有人宇宙活動を レベルアップしていきたい

――コマンダーとして、どんな心構えで訓練に臨んでいますか。

若田　今回のクルーに任命される以前からの、NASAのISS運用ブランチのチーフやJAXA宇宙飛行士グループ長としての経験が大きく役立っていると思います。各国の宇宙飛行士の訓練や宇宙飛行時の支援もかなりさせてもらいました。ISSの目的は、〝科学技術分野における人類史上最大規模の国際協力で実現した、素晴らしい能力を持つ軌道上研究実験施設を最大限に利用し成果を出していくこと〟です。そのために必要なのは、宇宙飛行士だけではなく、地上の管制チーム、実験提案者や科学者、ISSプログラム管理部門など、ISS計画を支える多くの方々としっかりと連絡を取り合い、ベクトルを合わせていくことだと思います。

――古川宇宙飛行士のISS滞在中に、日本人宇宙飛行士の宇宙滞在時間が世界で3番目になりました。

若田　日本の有人宇宙開発が世界的にみても非常に高い水準にあることを物語っていると思います。宇宙開発は人類存続のための危機管理という位置づけができる大切な取り組みで、科学技術立国である日本が目指すべきところは、より主体的に宇宙での有人活動を展開していくための宇宙往還手段を自力で確保することではないかと思います。その技術は、日常生活、そして災害時においても重要な役割を果たす人工衛星を確実に打ち上げるための信頼性の高い宇宙輸送能力を確立する事にもつながります。また今後さらに拡大していく世界の宇宙輸送市場における日本の躍進の原動力にもなります。ロケットや人工衛星、「きぼう」や「こうのとり」といった有人宇宙システム、「はやぶさ」や「かぐや」などの宇宙探査機で培った技術や経験・人材を失うことなく、科学技術立国としての使命を果たしつつ、一歩一歩進んでいきたいですね。

――最後に、2回目の長期滞在に向けた抱負をお聞かせください。

若田　1992年の毛利宇宙飛行士のスペースシャトル飛行によって本格的に始まった日本の有人宇宙活動は、一歩一歩裾野を広げながら新しい課題にチャレンジし続け、恒久的な有人実験施設である「きぼう」やスペースシャトル退役後更に重要な役割を果たす「こうのとり」の運用を成功させるという世界的にも非常に高い水準に到達しました。毛利さん、向井さん、土井さんをはじめ、先輩方が築いてくれた有人宇宙活動のフロンティア精神を継承し、これまでの訓練や宇宙飛行の経験を生かしてISSや「きぼう」の成果を最大限に引き出せるように頑張りたいと思います。日本は宇宙開発のモノ作り技術でも世界から高い評価を受けていますが、今回ISSコマンダーとして有人宇宙活動における国際協力プロジェクトの場でリーダーシップを発揮する事で、日本人が人的貢献という点でも頑張っているということを世界にアピールできるように努力していきたいと思います。

若田光一
WAKATA Koichi
宇宙飛行士。1996年、スペースシャトル「エンデバー号」に日本人初のミッションスペシャリストとして搭乗。2000年のSTS-92ミッションではISSの建設に参加。09年に日本人で初めての約4カ月半の長期滞在ミッションを実施し、「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームを取り付け、「きぼう」を完成に導いた。10年、NASAのISS運用ブランチチーフに就任。11年2月にISS第38次／第39次長期滞在クルーに任命。第38次長期滞在ではフライトエンジニアを、第39次長期滞在ではコマンダーを務める

1 ガガーリン宇宙飛行士訓練センターにて船外活動訓練
2 モスクワ郊外でサバイバル訓練に参加。怪我人役のミハイル・チューリン宇宙飛行士（手前）を、タンカで運ぶ若田（左）、リチャード・マストラキオ（右）両宇宙飛行士
3 ソユーズ宇宙船のランデブー訓練
4 ロシアモジュールのモックアップ（実物大の訓練施設）内で、火災検知・消火システムを構成する機器や装備の位置と、使用方法を再確認
5 オーラン宇宙服を着てエアロックシミュレータの作業訓練
（1〜5画像:JAXA/GCTC）

ここで紹介しきれなかった若田宇宙飛行士のインタビューを「JAXA's+（ジャクサスプラス）」ウェブサイトでご紹介しています。
合わせてお楽しみください。→ http://www.jaxa.jp/pr/jaxas/index_j.html

低コスト複合材の研究

より軽く、より強く、より安く

軽くて強い素材として、スキー板やテニスラケット、航空機から人工衛星まで幅広く使用されている「炭素繊維複合材料」。炭素繊維とプラスチックを組み合わせることで、従来航空機に使われていたアルミ合金に比べ約5倍の強さを持つ材料となります。問題は製造コストが高いこと。JAXAでは、航空宇宙用の構造を現在の製造手法よりも低コストでより軽量化できるような研究開発を進めています。

岩堀 豊
IWAHORI Yutaka
研究開発本部
複合材技術研究センター
センター長

日用品から航空機人工衛星にも利用される複合材

——"複合材"とはそもそもどのようなものでしょうか。

岩堀　複合材とは、異なる特性を持った複数の材料を組み合わせて作る、新しい機能を持った材料のことです。いろいろな種類がありますが、私たちが扱っている複合材は、炭素繊維のシートや織物をプラスチックで強化したもので、「炭素繊維強化プラスチック」と呼ばれています。

今から約50年前、高性能炭素繊維生産のもととなる技術がわが国で発明されました。ですから、炭素繊維を使った複合材技術は、日本のお家芸とも言えます。

——なぜ複合材が必要なのでしょうか。

岩堀　まず、金属に比べて非常に軽くて丈夫です。大きな力にも耐えますし、金属疲労のように繰り返し力がかかる状態でも長期間壊れない耐久性があります。熱膨張率も小さいので、急激な温度変化、いわゆる熱衝撃にも強い材料です。複合材にはこうした特性があるため、さまざまな物に利用されています。

——どのような物に使われているのでしょうか。

岩堀　ゴルフクラブのシャフトやスキー板、スノーボード板などスポーツ用品に使われることが多いですね。最近では風力発電のブレードや、軽量化と強度が求められる車の構造などにも使われ始めています。将来、複合材がもっと利用されるようになれば、自家用車、建築資材、工業用ロボットなどの産業用機械などにも多く使われるようになるかもしれません。

——航空分野ではどのように使われていますか。

岩堀　最近就航したばかりのボーイング社のボーイング787は、主翼や胴体、尾翼など、機体構造のあらゆる場所に複合材が使用されています。

——宇宙分野にも複合材は使われているのでしょうか。

岩堀　ロケットの一部や人工衛星に使われています。人工衛星では、太陽電池パネルやアンテナ部分は複合材製です。例えば小惑星探査機「はやぶさ」のアンテナには、炭素繊維を竹の籠のように織った(三軸織り)複合材が使われています。観測衛星では、トラス構造を構成するシャフトに使われることがあります。先ほど述べたように、複合材は温度変化にも強いという特性がありますので、厳しい宇宙環境でも高い耐久性と精度確保を有する構造を実現することができるのです。

低コストを実現する成形法の研究

——一般的な複合材はどのように作られるのでしょうか。

岩堀　「オートクレーブ成形法」という方法があります。まず、プリプレグと呼ばれる炭素繊維に樹脂を含浸させたシートを、部品の形に裁断して重ね合わせます。この段階では、樹脂はまだ完全に固まっていない「半生」の状態です。次に、オートクレーブと呼ばれる圧力釜に入れて、高い温度と圧力をかけて積層した半生状態のシートを固めます。その後、圧力釜から部品を取り出し、余分な部分を削り取り、形を整えて完成です。重ね合わせるプリプレグの繊維の方向や織り方、繊維量などを変えることで、複合材自体の強さや剛性を、製品の用途や目的に合わせて変化させることもできます。

——複合材の製造ではどのような課題がありますか。

岩堀　現状、価格が複合材拡大のネックになっています。複合材で航空機部品を作ると、金属で製造する場合の約2倍から3倍のコストがかかるとされています。今後開発される航空機に複合材が大量に使用され続け、量産化が進めばコストも次第に下がっていくでしょう。しかし、金属と同じような価格になるのは10年〜15年はかかると思います。そのため私たちは、どうやったら現在の複合材品質を落とさず、または高度化し、もっと安く作れるか、という低コスト複合材成形技術の研究を行っています。

——低コスト成形技術とはどのようなものでしょう。

岩堀　「オートクレーブ成形法」には、いくつかの課題があります。1つは、プリプレグに使用期限があること。また、プリプレグに含浸している樹脂は常温で放置すると固まるため、約マイナス20度の低温で保存する必要があります。一方、私たちが研究している「VaRTM(バータム)成形法」では、ドライプリフォームと呼ばれる樹脂の付いていない炭素繊維を用いて成形を行います。炭素繊維と樹脂とを別々に保管できるので、プリプレグよりも管理や保管は簡単になり、炭素繊維については積層状態で作り置きが可能になります。

また、オートクレーブは製品に合わせた大きさが必要で、大型の製品に対応するには、それに見合う設備と費用がかかりますが、「VaRTM成形法」では大気圧下で樹脂を注入し熱をかければ成形できるので、製品サイズに合わせたオートクレーブ設備は必要ありません。つまりプリプレグもオートクレーブも必要ないので、規模の小さい企業であっても、部品のサイズや材料の保管管理に制約されにくく、複合材製品を形成できるようになります。

JAXAでは、静粛超音速機の研究や国産旅客機の研究を進めていますが、静粛超音速研究機の主翼構造や、JAXAで想定した国産旅客機の主翼構造などは「VaRTM成形法」で作った複合材を使用することを前提に設計しました。

最近では、「VaRTM成形法」を応用した複合材成形法として、「ハイブリッド成形法」に関する研究を行っています。「ハイブリッド成形法」は、従来工法であるプリプレグと複雑な形状でも成形がしやすい「VaRTM成形法」の両利点を生かして、比較的大型な構造でもオートクレーブなしに、一体成形できることを目指した成形手法です。

複合材技術で日本がトップランナーであり続けるために

——なぜJAXAが複合材成形の研究を行うのでしょうか。

岩堀　民間企業でも成形研究は行われていますが、より先進的な複合材技術に対する研究を進め、その技術が航空機構造の製造方法としてどれほど実現性があるのか、ないとすれば何が問題なのかを明らかにしていくことが私たちの役割だと考えます。また、これらの工法が特定の企業のノウハウにとどまることなく、複合材で事業を考えている国内企業にも展開できるようにすることも必要だと考えています。

私たちは、従来工法や新工法で製造した複合材のデータベースの準備も進めています。複合材には、現在、公共的な材料データベースや標準的な技術データがありません。民間企業が製品を開発する際には、複合材の材料データが取得され設計に使用されるわけですが、それらのデータは製品に直結しており、情報開示は困難です。一方、公的機関であるJAXAならば、これまで研究したデータを公開して、これから複合材を使用して設計を考えていらっしゃる方などに利用してもらうことができます。

以上のように、複合材を使った製品の価格を下げ、複合材製造に対する国際競争力を維持・向上させるためには、複合材の製造方法に対する設備投資の軽減や保管・管理のリスクを下げたり、複合材の標準的な材料力学データが使いやすく公開されることによって、多くの企業に複合材事業に参加してもらい、産業の裾野を広げて行くことが必要だと考えています。

——今年度、複合材グループは「複合材技術研究センター」に組織名を変更しました。

岩堀　今、アメリカ、イギリス、ドイツをはじめ、ヨーロッパ、オーストラリア、韓国、中国などが、国を挙げて研究開発に取り組んでいます。そうした国際情勢の中、複合材料に関して、わが国の航空宇宙関連の複合材料技術研究を推進すべく、試験設備や研究者が集約されているのがJAXAの複合材グループでした。今後、さらに激化していくであろう複合材料に関する研究について、産業界、大学、関連機関とも連携を強化し、これまで以上にJAXAの設備を使っていただいたり、人材の交流を積極的に行って、日本の複合材技術を高めていく中心的機関となっていくことをアピールしたいという考えから、「複合材技術研究センター」へ組織改名したのです。今後、複合材技術研究センターは、日本がトップを走り続けるために複合材料に関する基盤的な研究開発を推進し、得られた材料技術や知見を発信するとともに、産学官が連携して研究開発を推進できる拠点としての中心的な役割を担っていきたいと考えています。

上：ボビンに巻かれた炭素繊維。航空宇宙構造用の複合材では、この炭素繊維とエポキシ樹脂で構成されているものが多い。下：宇宙分野では、人工衛星の太陽電池パネルの基板（画像）などに使われている

「ハイブリッド成形法」を用いて製作した飛行機の胴体部分模型。胴体の外板には特殊なプリプレグ、構造が複雑な内側には「VaRTM成形法」を用いて一体成形されている。従来より約25%のコスト低減が可能に

高温高圧化で硬化することにより高性能の航空機用炭素繊維強化プラスチック構造を成形できる。構造が大きくなればなるほど、それに見合った大きさのオートクレーブが必要となってくるため、どうしても高コストになってしまう。

真空パックを使い、大気圧下かつ比較的低温で成形する手法。ドライプリフォームのみの方がプリプレグよりも複雑な形状に対応しやすい、という利点もある。しかし、構造の形や大きさに成形品質が影響を受けやすく、大きな構造を作る際には非常に高度な技術を必要とする。

大面積単純形状はプリプレグ、小面積複雑形状はドライプリフォームで構造を形作り、一体化する。そこからはVaRTM成形法と一緒。真空パックで全体を覆って中の空気を抜き、ドライプリフォーム部分のみに樹脂を流し込み、最後に温度をかけ全体を同時に固める。

JAXA最前線

INFORMATION 1

星出彰彦宇宙飛行士 宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機 7月打ち上げへ

第32次／第33次長期滞在クルーのフライトエンジニアとして、国際宇宙ステーション（ISS）に長期滞在する星出宇宙飛行士。7月15日に予定されている打ち上げに向けて、最終調整期間に入っています。「ISS計画のパートナーとして、日本は世界から高い信頼を得ています。そうした信頼に応えられるような仕事を宇宙でしたい」と抱負を語る星出宇宙飛行士。ISS到着後、宇宙実験や日常生活の様子をツイートしていきますので、皆さんのフォローをよろしくお願いいたします。

→http://twitter.com/Aki_Hoshide

また、7月21日に打ち上げ予定の「こうのとり」3号機は、現在種子島宇宙センターで打ち上げに向けた準備作業を行っています。今回のミッションでは、合計約4.6トンの物資を国際宇宙ステーションに届けます。主な搭載品としては、「水棲生物実験装置」や「小型衛星放出機構」とそこから放出される小型衛星などがあり、長期滞在中の星出宇宙飛行士がこれらの装置を用いて実験を行います。また、2号機にも搭載された「REBR（Reentry Breakup Recorder）」に加え、官民協力のもと開発された再突入データ収集装置「i-Ball」が搭載され、大気圏再突入時のデータを取得し、再突入機のための設計用データ取得を目指します。「こうのとり」3号機の最新情報は、下記特設サイトでも随時お届けしていきます。

→http://www.jaxa.jp/countdown/h2bf3/index_j.html

画像:JAXA/NASA

シミュレータを使ったISSのロボットアームの操作訓練を行う星出宇宙飛行士

電気的・機械的に機体を結合した（全機結合）打ち上げ形態の「こうのとり」3号機

INFORMATION 2

「しずく」、「SDS-4」らの打ち上げ成功

2012年5月18日午前1時39分、第一期水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W1）、韓国の観測衛星「アリラン3号」および相乗り衛星の「小型実証衛星4型（SDS-4）」、九州工業大学の「鳳龍弐号」を搭載したH-IIAロケット21号機が、種子島宇宙センターから打ち上がりました。ロケットは正常に飛行し全ての衛星を予定通り分離、それぞれが所定の軌道に投入されていることを確認しました。

「しずく」については、高性能マイクロ波放射計2（AMSR2）のアンテナが正しく展開したことを、勝浦宇宙通信所で取得した画像により確認しました。今後、「しずく」の観測軌道となる「A-Train軌道」※への投入を約45日かけて行うとともに、初期機能確認を約3カ月間行っていく予定です。「SDS-4」についても当初の計画に沿って運用を続けています。

※A-Trainとは、軌道高度を約700kmとする複数衛星から構成されるNASA主導の地球観測衛星群。各国の衛星が協力して地球全体を観測するシステムで、日本から初めて「しずく」が参加します。現在A-Trainに参加しているAqua、CloudSat、Aura（以上NASA）、CALIPSO（NASA／CNES）とともにほぼ同一軌道上で飛行し、約10分以内にこれら全ての人工衛星が地球上の同地点を観測します。

「AMSR2」のアンテナ展開後の様子

INFORMATION 3

「ひので」と「みちびき」が観測 宇宙から見た金環日食

5月21日の朝に日本各地で観測された金環日食。その様子をJAXAの2機の人工衛星が宇宙から捉えました。太陽観測衛星「ひので」が観測したのは、月が太陽の前を太陽コロナを背景に通過する部分日食の様子です。21日午前6時34分ごろから、「ひので」が東シナ海上空からインドネシア上空にかけて飛行している際に、搭載されているX線望遠鏡で撮影しました。また、準天頂衛星初号機「みちびき」は、日本上空のエリアが月の影で黒くなっている様子を観測しました。

「ひので」が観測した最大食時のX線画像（日本時間21日午前6時41分）

（c）JAXA/国立天文台

「みちびき」が観測した日食による月の影。写真中央より少し右上の黒くなっている箇所が日本付近（月の影が落ちている。日本時間21日午前7時34分）

INFORMATION 4

宇宙分野でさらなる日米連携を

5月1日、野田佳彦首相は、ワシントン市内の大統領府迎賓館「ブレアハウス」で若田光一宇宙飛行士や古川聡宇宙飛行士、NASAのチャールズ・ボールデン長官らと面会しました。野田首相は「宇宙についての日米連携を深めたい」とし、若田宇宙飛行士は、スペースシャトルの3回のフライトによって「きぼう」日本実験棟が完成できたことの意義について触れました。また古川宇宙飛行士は、微小重力でのタンパク質結晶成長を利用した医薬品開発の面で、インフルエンザウイルスの増殖を抑える万能薬の研究などが進められており、医者として今後大きな成果が出るよう尽力したいと語りました。

画像:NASA/Bill Ingalls

右から古川・若田両宇宙飛行士、野田首相、NASAボールデン長官、メルヴィン教育局長、グランスフェルド科学局長

INFORMATION 7

日本人初、COPUOS本委員会議長に堀川技術参与が就任

世界71カ国が加盟する国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）本委員会の議長に、JAXAの堀川康技術参与が就任しました。1959年に国連に設置された同委員会で日本人が議長になるのは初めてのことです。国連活動に対する日本の人的貢献の一部と捉えられており、JAXAもCOPUOSの宇宙空間の平和利用活動に積極的に貢献していきます。任期は2012年6月より2年間です。

INFORMATION 5

相模原キャンパスで宇宙を体感しよう 7月27日、28日、特別公開

毎年恒例の相模原キャンパス特別公開が、今年も7月27日（金）、28日（土）の2日間にわたって開催されます。普段は見ることのできない研究設備の公開や、最新の研究成果の発表、工作教室、スタンプラリーなど、楽しみながら最新の宇宙開発に触れることのできるイベントをご用意しています。夏休みのこの機会をご利用いただき、たくさんの皆さんのご来場をお待ちしております。

昨年の特別公開時の様子。2日間で1万人を超える来場者があった

INFORMATION 6

「宇宙の日」作文・絵画コンテスト作品募集

9月12日の「宇宙の日」を記念し、全国小・中学生作文絵画コンテストを毎年開催しています。今年のテーマは「宇宙オリンピック」。どこで、どんな仲間たちと、どんな競技を行うのか、宇宙の仲間たちが集まるオリンピックを自由に描いた作文や絵画をお寄せください。応募締切は2012年7月31日（火）必着です。皆さんのご応募をお待ちしております。

応募の詳細は、下記WEBサイトで紹介しています。
http://www.jsforum.or.jp/event/spaceday/oubo.html

INFORMATION 8

引き続きご支援をお願いします インターネット等からの寄附金募集

インターネット等からのJAXAへの寄付金額が6月14日時点で2千278万5千円となりました。国民の皆様の宇宙に対する関心の高さ、寄付金に対する多くの方からのご賛同について大変ありがたく思います。小惑星探査機「はやぶさ2」への寄付金額が全体の約半分と特に高い関心をいただいておりますが、JAXAとしましても同プロジェクトの着実な実現に向けて計画を進めて参りたいと思います。宇宙航空研究開発のさらなる発展のために、引き続きご支援をお願いします。

JAXA寄附金サイトはこちら
http://www.jaxa.jp/about/donations/

発行企画●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー

2012年7月1日発行

JAXAタウンミーティングの様子

Close-up

JAXAタウンミーティングに参加しよう!

JAXAタウンミーティングは、従来から行われている講演会・シンポジウムとは異なり、JAXAの経営者や研究者、技術者と参加者の皆さんが気軽に自由に宇宙航空の話題について意見交換する"コミュニケーションの場"です。宇宙航空分野をテーマに、全国各地で開催を予定しており、2004年にスタートしてから参加者は1万人を超えています。「前から興味があって聞きたかった!」、「難しそうだけど知りたい!」などなど、何でも語り合いましょう。

タウンミーティング参加費は無料。普段報道ではなかなかお伝えしきれないJAXAのビジョンをお話ししたり、今後あるべき姿について皆さんからご提案いただくことなどに重点をおいています。登壇者からの話題提供の後で、皆さんと意見交換を行います。いただいたご意見は、JAXAの活動に役立てられています。

開催当日の様子は、後日JAXA WEBサイトで公開されます。今後の開催スケジュールも合わせてご覧ください。
http://www.jaxa.jp/townmeeting/

ただいま共催団体募集中!

あなたの街でもタウンミーティングを開催しませんか? JAXAタウンミーティングは、私たちJAXAから積極的に皆さんの街を訪ねることで、宇宙が大好きな方とも、日頃あまり宇宙に関する話題と接点のない方とも触れ合って、楽しく意見交換するイベントです。興味をお持ちの方はお気軽にお問い合わせください。

お問合せ/ JAXA広報部
タウンミーティング担当
TEL:03-6266-6400(代表)

「JAXA's」配送サービスを開始しました。ご自宅や職場など、ご指定の場所へJAXA'sを配送します。本サービスご利用には、配送に要する実費をご負担いただくことになります。詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください。
http://www.jaxas.jp/
●お問い合わせ先
財団法人日本宇宙フォーラム 広報・調査事業部
「JAXA's」配送サービス窓口
TEL:03-6206-4902

空へ挑み、宇宙を拓く
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部 〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング3階
TEL:03-6266-6400 FAX:03-6266-6910

JAXAウェブサイト http://www.jaxa.jp/
メールサービス http://www.jaxa.jp/pr/mail/
JAXA's配送サービス http://www.jaxas.jp/